

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
26. Mai 2005 (26.05.2005)

PCT

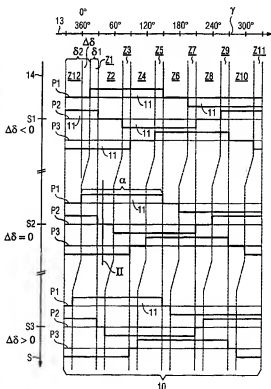
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2005/048444 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: H02P 6/08, 6/14 (72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SCHWARZKOPF, Jo-
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/051766 hannes (DE/DE); Am Kloßing 13, 97828 Marktheiden-
(22) Internationales Anmeldedatum: feid (DE).
11. August 2004 (11.08.2004) (74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGE-
SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München
(25) Einreichungssprache: Deutsch (DE).
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: CONTROL OF AN ELECTRIC MOTOR WITH CONTINUOUS ADJUSTMENT OF THE COMMUTATION ANGLE

(54) Bezeichnung: ANSTEUERUNG EINES ELEKTROMOTORS MIT KONTINUIERLICHER EINSTELLUNG DES KOMMUTIERUNGSWINKELS



(57) Abstract: The invention relates to a method for improving commutation of the at least one phase (Pi) of an electric motor (1). For this purpose, the commutation angle (α) of the one or more phases (Pi) is continuously varied in accordance with the rotary frequency (f) of the electromagnetic energizing field (F) of the electric motor (1) and/or in accordance with an adjustable variable (S) which is characteristic of the driving power. A device (9) suitable for carrying out the inventive method comprises a frequency converter (5) and a control unit (6) controlling the same and adapted to carry out the invention.

(57) Zusammenfassung: Für eine verbesserte Kommutierung der mindestens einen Phase (Pi) eines Elektromotors (1) wird ein Verfahren angegeben, bei dem der Kommutierungswinkel (α) der oder jeder Phase (Pi) in Abhängigkeit der Drehfrequenz (f) des elektromagnetischen Erregersfeldes (F) des Elektromotors (1) und/oder einer für die Antriebsleistung charakteristischen Stellgröße (S) kontinuierlich variiert wird. Eine zur Durchführung des Verfahrens geeignete Vorrichtung (9) umfasst einen Umrichter (5) und eine diesen steuernde Steuereinheit (6), die zur Durchführung des Verfahrens ausgebildet ist.



TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

- (84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KH, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT,

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Beschreibung

Ansteuerung eines Elektromotors mit kontinuierlicher Einstellung des Kommutierungswinkels

5

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Kommutierung der mindestens einen Phase eines Elektromotors.

- 10 Ein Umrichter (oder Stromwender) wird herkömmlicherweise verwendet, um eine Phase des elektromagnetischen Erregerfelds eines Elektromotors im Bereich des Nulldurchgangs umzupolen. Als Nulldurchgang wird die Stellung der Phase bezeichnet, in welcher die Phase parallel zu dem Statorfeld des Motors ausgerichtet ist, so dass kein Drehmoment auf den Rotor des Motors ausgeübt wird.
- 15

- Bei einem modernen Elektromotor, wie er insbesondere in der Antriebstechnik von Elektrofahrzeugen verwendet wird, erfolgt
- 20 die Kommutierung zumeist elektronisch mittels Leistungstransistoren.

- Für die Kommutierung eines solchen elektronisch kommutierten Motors wird häufig ein elektrischer Vollzyklus, d.h. eine
- 25 volle Drehung des Erregerfeldes um 360° , in gleichförmige Zonen (oder "States") unterteilt. Zu Beginn einer jeden Zone können die Leistungstransistoren für die Kommutierung einer Phase an- oder ausgeschaltet werden. Der Zustand der Phase bleibt dann zumindest bis zum Ende der Zone erhalten, kann
- 30 aber optional durch ein pulsweitenmoduliertes (PWM-)Signal überlagert werden.

- Durch die Aufteilung des Vollzyklusses in Zonen wird eine diskrete Anzahl möglicher Kommutierungswinkel der oder jeder
- 35 Phase festgelegt. Als Kommutierungswinkel ist hierbei derjenige Teil des Vollzyklusses bezeichnet, während dessen die oder jede Phase angesteuert, d.h. erregt ist. Bei einer Auf-

teilung des Vollzyklusses in zwölf gleiche Zonen kann der Kommutierungswinkel beispielsweise 180° , 150° , 120° , ... betragen. Bisher wird ein Elektromotor häufig bei einem festen Kommutierungswinkel betrieben.

5

- Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Kommutierung eines Elektromotors anzugeben, durch welches für jeden Betriebspunkt des Motors ein gutes Antriebsergebnis erzielt wird. Ein gutes Antriebsergebnis äußert sich insbesondere in einer niedrigen und gleichmäßigen Stromaufnahme des Motors bei vergleichsweise hohem und zeitlich stabilem Drehmoment, einer geringen Belastung des Motors und/oder des Umrichters, einer guten Ausnutzung der Leistungsfähigkeit des Motors, einer guten elektromagnetischen Verträglichkeit, etc.
- 10 Der Erfindung liegt weiterhin die Aufgabe zugrunde, eine besonders geeignete Vorrichtung zur Durchführung des genannten Verfahrens anzugeben.
- 15

- Bezüglich des Verfahrens wird die Aufgabe erfindungsgemäß gelöst durch die Merkmale des Anspruchs 1. Danach ist vorgesehen, den Kommutierungswinkel der oder jeder Phase des Elektromotors in Abhängigkeit der Drehfrequenz des Erregerfeldes und/oder einer für die Antriebsleistung charakteristischen Stellgröße kontinuierlich zu variieren.
- 20

25

- Die Erfindung geht von der Überlegung aus, dass eine Variation des Kommutierungswinkels mit der Drehzahl des Motors oder der Motorleistung vorteilhaft ist. So führt ein Betrieb des Motors unter vergleichsweise hohem Kommutierungswinkel im hohen Drehzahl- oder Leistungsbereich zu einer guten Ausnutzung der Leistungsfähigkeit des Motors, einer geringen Stromwelligkeit und einer vergleichsweise niedrigen Verlustleistung. Andererseits hat im niedrigen Drehzahl- oder Leistungsbereich der Betrieb des Motors unter vergleichsweise kleinem Kommutierungswinkel den Vorteil, dass die Transistoren und Kondensatoren des Umrichters vergleichsweise gering belastet werden, insbesondere zumal auf diese Weise ein Einsatz von PWM
- 30
- 35

nicht oder in geringerem Maße erforderlich ist. Der Erfindung liegt weiterhin die Überlegung zugrunde, dass eine diskrete, d.h. stufenweise Änderung des Kommutierungswinkels eine Unstetigkeit des Betriebsverhaltens des Motors zur Folge hätte.

5 Eine solche Unstetigkeit könnte erkanntermaßen im Betrieb des Motors nachteilig sein. Insbesondere wäre zu erwarten, dass der Motor in einem Übergangsbereich zwischen zwei Betriebspunkten hin und her springt. Hierdurch würden starke Schwankungen in der Stromaufnahme und dem Drehmoment auftreten, wo-

10 durch durch ständige Beschleunigung und Verzögerung des Rotors eine vergleichsweise hohe Motorbelastung auftreten würde.

Indem der Kommutierungswinkel erfindungsgemäß kontinuierlich variiert wird, kann die Kommutierung des Motors in einfacher Weise auf jeden Betriebspunkt des Motors besonders gut angepasst werden, ohne dass eine solche Unstetigkeit auftritt.

15

In einer besonders einfach zu realisierenden Ausführung der Erfindung wird der Vollzyklus des Erregerfeldes in eine Anzahl von Zonen unterteilt, wobei die oder jede Phase des Motors entsprechend einem in Abhängigkeit dieser Zonen hinterlegten Steuermuster kommutiert wird. Dabei wird durch Variation der Winkelausdehnung mindestens zweier Zonen die kontinuierliche Variation des Kommutierungswinkels ermöglicht.

20

25

Vorzugsweise sind die Zonen in zwei Gruppen unterteilt, wobei Zonen derselben Gruppe stets dieselbe Winkelausdehnung aufweisen. Dabei sind die Zonen der verschiedenen Gruppen alternierend zueinander angeordnet, so dass eine Zone der ersten Winkelausdehnung stets auf eine Zone der zweiten Winkelausdehnung folgt und umgekehrt. Im Zuge der Einstellung des Kommutierungswinkels können dabei die Zonen der ersten Gruppe zugunsten der Zonen der zweiten Gruppe hinsichtlich ihrer

30

35 Winkelausdehnung verkürzt oder verlängert werden. Die oder jede Phase wird zweckmäßigerweise über eine ungerade Anzahl aufeinander folgender Zonen angesteuert (oder erregt). Der

Kommutierungswinkel wird folglich durch die Summe der Winkel-
ausdehnungen von 1,3,5, ... aufeinander folgender Zonen fest-
gelegt und variiert somit mit dem Größenverhältnis der Zonen
der beiden Gruppen.

5

Bevorzugt wird der Kommutierungswinkel im Hinblick auf den
Leistungsbereich des Motors derart eingestellt, dass der Kom-
mutierungswinkel bei einer geringen Drehzahl oder bei einer
geringen Leistung des Motors, minimal und bei einer hohen
10 Drehzahl oder einer hohen Leistung maximal ist.

Für eine bedarfsangepasste Einstellung des Kommutierungswin-
kels ist es besonders vorteilhaft als Steuervariable für den
Kommutierungswinkel nicht die reine Drehfrequenz heranzuzie-
15 hen, sondern eine Stellgröße, die, ähnlich der Gaspedalstel-
lung eines Automobils, für die Motorleistung charakteristisch
ist. Diese Stellgröße wird zweckmäßigerweise, insbesondere
mittels eines PI(Proportional/Integral)-Reglers aus der (Ist-
)Drehfrequenz und einer zugehörigen Sollgröße abgeleitet.

20

Das Betriebsverhalten des Motors wird bevorzugt weiterhin
durch Pulsweitenmodulierung der Phase verbessert. Dies bedeu-
tet, dass die oder jede Phase innerhalb des Kommutierungswin-
kels nicht konstant, sondern gepulst angesteuert wird. Die
25 Weite, d.h. die Winkelausdehnung, dieser Einzelpulse wird
wiederum in Abhängigkeit der Drehfrequenz oder der Stellgröße
moduliert, d.h. variiert.

Als besonders vorteilhaft hat es sich erwiesen, einzelne der
30 vorstehend beschriebenen Parameter zur Steuerung des Be-
triebsverhaltens des Elektromotors, d.h. des Kommutierungs-
winkels sowie der Pulsweitenmodulierung in einem bestimmten
Drehzahl- oder Leistungsbereich des Motors bevorzugt einzu-
setzen. In diesem Sinne wird in einem Niederleistungsbereich
35 des Motors bevorzugt Pulsweitenmodulierung eingesetzt, wäh-
rend der Kommutierungswinkel konstant gehalten wird. In einem
Hochleistungsbereich des Motors wird in dieser Ausführung des

erfindungsgemäßen Verfahrens dann der Kommutierungswinkel zwischen seinem Minimalwert und seinem Maximalwert variiert, während das Pulsweitenverhältnis konstant gehalten wird. Das Pulsweitenverhältnis beträgt hier insbesondere 100%, d.h. die
5 oder jede Phase wird während des Kommutierungswinkels konstant angesteuert.

Das vorstehend beschriebene Verfahren ist wahlweise für eine unipolare Ansteuerung als auch eine bipolare Ansteuerung der
10 oder jeder Phase vorgesehen.

Bezüglich der zur Durchführung des vorstehend beschriebenen Verfahrens vorgesehenen Vorrichtung wird die Aufgabe erfindungsgemäß gelöst durch die Merkmale des Anspruchs 11. Danach
15 umfasst die Vorrichtung einen Umrichter, der die mindestens eine Phase eines Elektromotors ansteuert. Der Umrichter wird seinerseits durch eine Steuereinheit angesteuert, wobei diese zur Ausführung des vorstehend beschriebenen Verfahrens ausgebildet ist.

20 Der Umrichter ist vorzugsweise ein mit Leistungshalbleiterbauteilen zur Beschaltung der oder jeder Phase bestückter elektronischer Umrichter. Die Steuereinheit ist hierbei insbesondere als mit entsprechenden Software-Modulen ausgestatteter Mikrocontroller ausgeführt. Denkbar wäre eine Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens aber auch bei einem mechanischen Umrichter. Die verfahrensgemäße Zoneneinteilung könnte hier durch geeignete, z.B. trapezförmige Gestaltung der Stromabnehmerflächen des Umrichters realisiert werden. Eine
30 kontinuierliche Änderung des Kommutierungswinkels könnte dabei mittels einer geeigneten Steuereinheit durch leistungsabhängige axiale Verschiebung des Umrichters bezüglich der korrespondierenden Schleifkontakte erreicht werden.

35 Der Steuereinheit wird bevorzugt durch einen Sensor die (zeitabhängige) Orientierung des Erregerfelds und/oder dessen Drehfrequenz als Eingangsgröße zugeführt.

Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand einer Zeichnung näher erläutert. Darin zeigen:

- 5 FIG 1 schematisch einen Elektromotor mit einem vorge-
 schalteten Umrichter und einer Steuereinheit zur
 Ansteuerung des Umrichters,
 FIG 2 schematisch eine Orientierung des elektromagnetischen
 Erregerfelds bei einer dreiphasigen, bipolar
10 angesteuerten Ausführung des Elektromotors gemäß
 FIG 1 innerhalb eines Vollzyklusses,
 FIG 3 schematisch ein Steuermuster für den Elektromotor
 in Ausführung gemäß FIG 2,
 FIG 4 in einer Darstellung gemäß FIG 3 ein Steuermuster
15 für eine fünfphasige, unipolar angesteuerte Ausführung
 des Elektromotors,
 FIG 5 ein Stellglied für die Ableitung einer der Steuer-
 einheit als Eingangsgröße zugeführten Stellgröße
 anhand der (Ist-)Drehzahl und einer zugehörigen
20 Sollgröße,
 FIG 6 in einem schematischen Flussdiagramm ein Verfahren
 zur Kommutierung des Elektromotors gemäß FIG 1 und
 FIG 7 in einem Diagramm im Zuge des Verfahrens gemäß FIG
 6 in Abhängigkeit der Stellgröße vorgenommene Para-
25 metereinstellungen.

Einander entsprechende Teile und Größen sind in allen Figuren stets mit denselben Bezugszeichen versehen.

- 30 Das in FIG 1 grob vereinfacht dargestellte Schema zeigt einen
 Elektromotor 1 mit einem in einem Stator 2 drehbaren Rotor 3.
 Der Rotor 3 trägt einen Erregerkreis 4 zur Erzeugung eines
 elektromagnetischen Erregerfelds F1, das mit dem Rotor 3, und
 damit gegen ein ortsfestes elektromagnetisches Statorfeld H
35 rotiert.

Wie in dem vereinfachten Schema gemäß FIG 1 nicht explizit dargestellt ist, weist der Elektromotor 1 in der Regel mehrere Erregerkreise 4 auf. Jeder Erregerkreis 4 produziert somit lediglich eine Komponente des gesamten Erregerfelds F. Ein Erregerkreis 4 sowie die von diesem erzeugte Komponente des Erregerfelds F sind zusammenfassend als Phase P_i ($i = 1, 2, 3, \dots$) bezeichnet.

Der Erregerkreis 4 jeder Phase P_i ist an einen Umrichter 5 angeschlossen, mittels welchem ein Feld erzeugender Stromfluss in dem Erregerkreis 4 induzierbar ist. Dies wird als Ansteuerung oder Erregung der jeweiligen Phase P_i bezeichnet. Es wird dabei zwischen unipolarer und bipolarer Ansteuerung unterschieden. Bei unipolarer Ansteuerung ist der Stromfluss binär, d.h. zwischen einem "0"-Status und einem "1"-Status ein- und ausschaltbar. Bei bipolarer Ansteuerung ist der Stromfluss im Erregerkreis 4 umpolbar, so dass die jeweilige Phase P_i zwischen den Statuswerten $-1, 0$ und $+1$ steuerbar ist. Bei Umpolung des Stromflusses im Erregerkreis 4 der Phase P_i wird auch die Orientierung der zugehörigen Feldkomponente des Erregerfelds F umgepolt.

Die Beschaltung der Phasen P_i geschieht innerhalb des Umrichters 5 mittels (nicht näher dargestellter) Leistungstransistoren. Der Umrichter 5, und insbesondere dessen Leistungstransistoren, werden von einer als Mikrocontroller ausgeführten Steuereinheit 6 angesteuert. Die Steuereinheit 6 ist eingangsseitig über ein Stellglied 7 mit einem im Elektromotor 1 angeordneten Sensor 8, insbesondere einem Hall-Sensor, verbunden.

Der Sensor 8 erhebt ein für die zeitabhängige Orientierung des Erregerfelds F, und damit dessen Drehfrequenz f charakteristische Messgröße und leitet diese dem Stellglied 7 zu. Dem Stellglied 7 wird des Weiteren eine Sollgröße f_0 für die Drehfrequenz zugeleitet. Anhand der (Ist)-Drehfrequenz f und der zugehörigen Sollgröße f_0 ermittelt das Stellglied 7 auf

nachfolgend näher beschriebene Weise eine Stellgröße S und leitet diese der Steuereinheit 6 zu.

Der Umrichter 5 und die Steuereinheit 6 bilden zusammen mit dem Stellglied 7 und dem Sensor 8 eine Vorrichtung 9 zur Kommutierung der oder jeder Phase P_i des Elektromotors 1.

Das in FIG 2 abgebildete Schema zeigt eine Orientierung, d.h. eine "Momentaufnahme", des Erregerfelds F innerhalb eines Vollzyklusses 10. Als Vollzyklus wird eine Drehung des Erregerfelds F um einen Vollkreis von 360° bezeichnet. In der Darstellung gemäß FIG 2 ist der Elektromotor 1 dreiphasig und bipolar ansteuerbar ausgeführt. Das Erregerfeld F umfasst somit die drei Phasen P_1, P_2 und P_3 . Die Pfeilrichtung deutet hierbei die Polarität der jeweiligen Feldkomponente an. So ist die Phase P_1 positiv angesteuert ("1"-Status), d.h. mit der positiven Versorgungsspannung verbunden. Die Phase P_3 ist negativ angesteuert ist ("-1"-Status), d.h. mit negativer Versorgungsspannung oder GND verbunden. Die Phase P_2 ist nicht angesteuert ("0"-Status), wie durch die fehlende Pfeilspitze angedeutet ist.

Der Vollzyklus 10 ist in zwölf Zonen Z_i ($i = 1, 2, \dots, 12$) aufgeteilt. Die Richtung des Statorfelds H verläuft in der Darstellung durch die Zonen Z_6 und Z_{12} . Die Einteilung des Vollzyklusses 10 in Zonen Z_i dient einer vereinfachten Ansteuerung des Stromenders 5, indem der Status einer Phase P_i stets dann geändert werden kann, wenn die Phase die Grenzlinie zwischen zwei Zonen Z_i überquert. Gemäß FIG 2 wird jede Phase P_i beim Übergang von Zone Z_0 auf Z_1 positiv angesteuert ($0 \rightarrow 1$) und beim Übergang von Zone Z_5 auf Zone Z_6 wieder abgesteuert ($1 \rightarrow 0$). Beim Übergang von Zone Z_6 auf Zone Z_7 wird die Phase P_i negativ angesteuert ($0 \rightarrow -1$) und beim Übergang von Zone Z_{11} auf Z_{12} wieder abgesteuert ($-1 \rightarrow 0$).

Der Winkel zwischen Ansteuerung und Absteuerung einer Phase P_i ist als Kommutierungswinkel α bezeichnet. Die innerhalb

des Kommutierungswinkels α eingeschlossenen Zonen Z_i bilden zusammen einen Kommutierungsbereich 11. Bei der in FIG 2 beispielhaft dargestellten Aufteilung des Vollzyklusses 10 in zwölf gleiche Zonen Z_i mit einer Winkelausdehnung von je 30° , und Kommutierungsbereichen 11, die jeweils fünf Zonen Z_i umfassen, beträgt der Kommutierungswinkel $\alpha = 150^\circ$.

Der Winkel zwischen der Orientierung des Statorfeldes H (und damit dem Nulldurchgang einer Phase P_i) und dem Beginn des Kommutierungsbereichs 11 wird als Zündwinkel β bezeichnet. Im Beispiel gemäß FIG 2 beträgt der Zündwinkel $\beta \approx 15^\circ$.

Um den Kommutierungswinkel α kontinuierlich verstellen zu können, ist die Winkelausdehnung der Zonen Z_i variabel. Die Zonen Z_i werden hierbei alternierend in eine die ungeradzahli-
gen Zonen Z_l ($l = 1, 3, 5, \dots, 11$) umfassende erste Gruppe und eine die geradzahli-
gen Zonen Z_m ($m = 2, 4, 6, \dots, 12$) umfassende zweite Gruppe aufgeteilt. Die Zonen Z_l der ersten Gruppe erhalten dabei eine Winkelausdehnung von

$$\delta 1 = \frac{360^\circ}{n} + \Delta \delta. \quad \text{GLG 1}$$

Die Zonen Z_m erhalten entsprechend eine Winkelausdehnung von

$$\delta 2 = \frac{360^\circ}{n} - \Delta \delta. \quad \text{GLG 2}$$

n bezeichnet dabei die Gesamtanzahl der Zonen Z_i , im Beispiel gemäß FIG 2 somit $n = 12$. Für den Differenzwinkel $\Delta \delta$ gilt

$$-\frac{360^\circ}{n} \leq \Delta \delta \leq \frac{360^\circ}{n}. \quad \text{GLG 3}$$

FIG 3 zeigt schematisch ein Steuermuster 12, wie es zur Ansteuerung des Umrichters 5 in der Steuereinheit 6 hinterlegt ist. Das Steuermuster 12 gemäß FIG 3 ist für einen dreiphasi-

gen, bipolaren Elektromotor 1 ausgelegt, der dem Schema gemäß FIG 2 entspricht. Das Steuermuster 12 ist in Form eines zweidimensionalen Diagrammes dargestellt, auf dessen Horizontalachse 13 der Orientierungswinkel γ der Phase P1 innerhalb des Vollzyklusses 10 (vgl. FIG 2) angetragen ist. Auf der Vertikalachse 14 ist die Stellgröße S kontinuierlich angetragen. Das hinterlegte Steuermuster 12 ist also innerhalb eines vorgegebenen Intervalls für jeden beliebigen Wert der Stellgröße S definiert. Aus Gründen der Darstellbarkeit ist das Steuermuster 12 in FIG 3 nur für drei daraus beispielhaft ausgewählte, diskrete Werte S1, S2 und S3 der Stellgröße S abgebildet.

In der Darstellung des Steuermusters 12 gemäß FIG 3 äußern sich die Zonen Zi als in horizontaler Richtung nebeneinander angeordnete Flächen, die durch gestrichelte Linien gegeneinander abgegrenzt sind. In Übereinstimmung mit dem auf der Horizontalachse 13 angetragenen Orientierungswinkel γ bezieht sich auch die in FIG 3 dargestellte Zonenbeschriftung auf die Orientierung der Phase P1 als Referenzphase. Die Position der Phase P2 ist hierzu stets um vier Zonen, die Position der Phase P3 stets um acht Zonen versetzt. Der Status jeder Phase Pi bei gegebenem Wert S1, S2, S3 der Stellgröße S ist in FIG 3 in Form einer Stufenfunktion mit den Werten -1, 0, 1 in Abhängigkeit des Orientierungswinkels γ wiedergegeben.

Aus FIG 3 ist ersichtlich, dass in Abhängigkeit der Stellgröße S das Größenverhältnis $\delta 1/\delta 2$ benachbarter Zonen Zi und Z(i ± 1) variiert wird. So ist bei S = S1 der Differenzwinkel $\Delta\delta$ negativ, so dass $\delta 1 < \delta 2$ gilt. Umgekehrt ist bei S = S3 der Differenzwinkel $\Delta\delta$ positiv, so dass $\delta 1 > \delta 2$ gilt. Bei S = S2 wird der in FIG 2 dargestellte Spezialfall erreicht, bei dem der Differenzwinkel $\Delta\delta$ verschwindet und dementsprechend alle Zonen Zi die gleiche Winkelausdehnung $\delta 1 = \delta 2$ aufweisen. Die in FIG 2 dargestellte momentane Orientierung der Phasen P1, P2 und P3 ist in FIG 3 durch einen mit II gekennzeichneten senkrechten Strich angedeutet.

Durch Vergleich entsprechender Kommutierungsbereiche 11 zu verschiedenen Werten S1,S2,S3 der Stellgröße S wird deutlich, dass der (der Länge des Kommutierungsbereichs 11 entsprechenden) Kommutierungswinkel α infolge der Änderung des Differenzwinkels $\Delta\delta$ kontinuierlich variiert wird. Wie aus der Darstellung gemäß FIG 3 direkt zu entnehmen ist, gilt

$$\alpha = m \cdot \frac{360^\circ}{n} + \Delta\delta, \quad \text{GLG 4}$$

wobei m die Anzahl von Zonen Zi innerhalb eines Kommutierungsbereichs 11 bezeichnet. Allgemein ist m ungeradzahlig. Gemäß FIG 3 ist $m = 5$.

In FIG 4 ist ein alternativ ausgeführtes Steuermuster 12' dargestellt, das zur Ansteuerung einer fünfphasigen, unipolar angesteuerten Ausführung des Elektromotors 1 ausgelegt ist. Das Steuerprogramm 12 gemäß FIG 4 umfasst demnach Statusfunktionen für fünf Phasen Pi ($i = 1, 2, \dots, 5$), die entsprechend der unipolaren Ansteuerung zwischen den diskreten Werten 0 und 1 variieren. Weiterhin ist der Vollzyklus 10 hier in zwanzig Zonen Zi ($i = 1, 2, 3, \dots, 20$) gegliedert. Das Steuermuster 12' entspricht ansonsten dem in FIG 3 beschriebenen Steuermuster 12.

Die Funktionsweise des Stellglieds 7 ist in FIG 5 näher ausgeführt. Hieraus ist erkennbar, dass die von dem Sensor 8 erhobene Drehfrequenz f und die zugehörige Sollgröße f0 einem Differenzmodul 15 zugeführt werden. Dieses gibt eine Differenzfrequenz Δf an einen PI(Proportional/Integral)-Regler 16 aus. Der PI-Regler 16 erzeugt die Stellgröße S, die - ähnlich der Gaspedalstellung eines Automobils - ein Maß für die momentane Leistung des Elektromotors 1 ist.

In FIG 6 ist das von dem Stellglied 7, der Steuereinheit 6 und dem Umrichter 5 durchgeführte Verfahren zur Kommutierung des Elektromotors 1 in einem schematisch vereinfachten Fluss-

diagramm dargestellt. Danach wird zunächst durch ein Modul 17 die Stellgröße S erhoben und einem Auswahlmodul 19 zugeführt.

Das Auswahlmodul 19 prüft, ob die Stellgröße S mindestens einem vorgegebenen Schwellwert S' entspricht, der einen Hochleistungsbereich 21 (FIG 7) des Elektromotors 1 von einem Niederleistungsbereich 22 abgrenzt. Ist die Bedingung $S \geq S'$ erfüllt, so wird ein Modul 24 angesteuert. Anderenfalls, d.h. wenn sich der Elektromotor 1 im Niederleistungsbereich 23 befindet, ein Modul 25.

In jedem der Module 24 und 25 sind Regeln zur Ableitung einer Anzahl von Parametern in Abhängigkeit der Stellgröße S hinterlegt. Diese Parameter umfassen das so genannte Pulsweitenverhältnis R , den Differenzwinkel $\Delta\delta$.

Das Pulsweitenverhältnis R wird im Rahmen einer Pulsweitenmodulation einer Phase P_i während des Kommutierungsbereichs 11 benötigt. Hierbei wird die Phase P_i während des Kommutierungsbereichs 11 pulsartig angesteuert. Das Pulsweitenverhältnis R gibt hierbei an, welcher Anteil des gesamten Kommutierungsbereichs 11 durch die Summe der Pulse eingenommen wird. So wird bei einem Pulsweitenverhältnis von $R = 50\%$ die Phase P_i während des Kommutierungsbereichs 11 insgesamt nur zu 50% angeregt, während die restlichen 50% des Kommutierungsbereichs 11 durch Pausen zwischen den Pulsen eingenommen werden. Bei einem Pulsweitenverhältnis $R = 100\%$ setzen die Pulse dagegen unmittelbar aneinander an, so dass die Phase P_i während des ganzen Kommutierungsbereichs 11 konstant angesteuert wird. Die Frequenz des PWM-Signals ist deutlich höher als die Kommutierungsfrequenz.

Wie aus FIG 7 erkennbar ist, wird die Kommutierung des Elektromotors 1 im Hochleistungsbereich 21 durch Variation des Differenzwinkels $\Delta\delta$, und damit nach GLG 4 durch Variation des Kommutierungswinkels α gesteuert. Im Niederleistungsbereich

23 wird dagegen Pulsweitenmodulation zur Steuerung der Kommutierung eingesetzt.

- Im Hochleistungsbereich 21 werden die Parameter R und $\Delta\delta$ entsprechend nach den im Modul 24 hinterlegten Gleichungen

$$R=100\% \quad \text{und} \quad \text{GLG 5a}$$

$$\Delta\delta = \Delta\delta_{\min} + c \cdot (S - S'') \quad \text{GLG 5b}$$

- bestimmt. Dabei ist $\Delta\delta_{\min}$ ein vorgegebener Minimalwert des Differenzwinkels $\Delta\delta$ und c eine vorgebbare Konstante, die derart gewählt ist, dass $\Delta\delta \leq \Delta\delta_{\max}$ gilt. Nach GLG 4 wird bei der Änderung des Differenzwinkels $\Delta\delta$ auch der Kommutierungswinkel α zwischen einem im Niederleistungsbereich 23 eingestellten Minimalwert und einem im Hochleistungsbereich 20 eingestellten Maximalwert variiert.

- Im Niederleistungsbereich 23 werden die Parameter R und $\Delta\delta$ nach den im Modul 25 hinterlegten Gleichungen

$$R = \frac{S}{S''} \cdot 100\% \quad \text{und} \quad \text{GLG 6a}$$

$$\Delta\delta = \Delta\delta_{\min} \quad \text{GLG 6b}$$

- eingestellt.

- Soll beispielsweise bei dem dreiphasigen Elektromotor 1 gemäß FIG 2 und FIG 3 der Kommutierungswinkel α in Abhängigkeit der Stellgröße S zwischen 120° und 150° sein, so sind $\Delta\delta_{\min} = -360^\circ/n$ und $\Delta\delta_{\max} = 0$ zu wählen.

- Die Parameter R und $\Delta\delta$ werden einem Ansteuermodul 26 zugeführt, das anhand des Steuermusters 12,12' die Leistungstransistoren des Umrichters 5 ansteuert. Jeder in dem Steuermuster 12,12' mit einem entsprechenden Orientierungswinkel γ angegebene Schaltvorgang kann unter Verwendung der Gleichung

$$t = t_0 + \frac{\gamma}{360^\circ \cdot f} + \Delta t$$

GLG 7

5 direkt in einen entsprechenden Schaltzeitpunkt t umgerechnet werden. t_0 bezeichnet hierbei den Zeitpunkt des letzten Null- durchgangs der Phase P1. Der Zeitpunkt t_0 wird zusammen mit der momentanen Drehfrequenz f von dem Sensor 8 geliefert. Über die vorgebbare Zeitspanne Δt kann der Zündwinkel β eingestellt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kommutierung der mindestens einen Phase (P_i) eines Elektromotors (1), bei dem der Kommutierungswinkel (α) der oder jeder Phase (P_i) in Abhängigkeit der Drehfrequenz (f) des elektromagnetischen Erregerfeldes (F) des Elektromotors (1) und/oder einer für die Antriebsleistung charakteristischen Stellgröße (S) kontinuierlich variiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Vollzyklus (10) des Erregerfeldes (F) in eine Anzahl (n) von Zonen (Z_i) unterteilt wird, und die oder jede Phase (P_i) entsprechend einem in Abhängigkeit dieser Zonen (Z_i) hinterlegten Steuermuster (12,12') kommutiert wird, wobei die Winkelausdehnung (δ_1, δ_2) mindestens zweier Zonen (Z_i) zur Einstellung des Kommutierungswinkels (α) variiert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Vollzyklus (10) in alternierend aufeinander folgende Zonen (Z_1) einer ersten Gruppe und Zonen (Z_m) einer zweiten Gruppe aufgeteilt ist, wobei Zonen (Z_1, Z_m) der selben Gruppe jeweils die gleiche Winkelausdehnung (δ_1, δ_2) aufweisen.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die oder jede Phase (P_i) über eine ungerade Anzahl (m) aufeinanderfolgender Zonen (Z_i) angesteuert wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Kommutierungswinkel (α) zwischen einem einer geringen Drehzahl (f) und/oder Leistung entsprechenden Minimalwert und einem einer hohen Drehzahl (f) und/oder Leistung entsprechenden Maximalwert variiert wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t , dass anhand der Drehfrequenz (f)
und einer zugehörigen Sollgröße (f_0) die zur Einstellung des
Kommütierungswinkels (α) herangezogene, für die Leistung (I)
5 charakteristische Stellgröße (S) abgeleitet wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t , dass die oder jede Phase (P_i) in
Abhängigkeit der Drehfrequenz (f) des Erregerfeldes (F)
10 und/oder der Stellgröße (S) pulswertenmoduliert angesteuert
wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, d a d u r c h g e k e n n -
z e i c h n e t , dass in einem durch einen geringen Wert der
15 Drehfrequenz (f) oder Stellgröße (S) gekennzeichneten Nieder-
leistungsbereich (23) bei konstantem Kommütierungswinkel (α)
die oder jede Phase (P_i) pulswertenmoduliert angesteuert wird
und dass in einem durch einen hohen Wert der Drehfrequenz (f)
oder Stellgröße (S) gekennzeichneten Mittelleistungsbereich
20 (21) der Kommütierungswinkel (α) variiert wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t , dass die oder jede Phase (P_i)
unipolar angesteuert wird.
25
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t , dass die oder jede Phase (P_i)
bipolar angesteuert wird.
11. Vorrichtung (9) zur Kommütierung der mindestens einen
30 Phase (P_i) eines Elektromotors (1), mit einem Umrichter (5)
und einer Steuereinheit (6) für den Umrichter (5), die zur
Ausführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11
ausgebildet ist.
35
12. Vorrichtung (9) nach Anspruch 11, g e k e n n z e i c h -
n e t d u r c h einen Sensor (8), der die Orientierung

und/oder die Drehfrequenz (f) des Erregerfelds (F) bestimmt und der Steuereinheit (6) als Eingangsgröße zuführt.

FIG 1

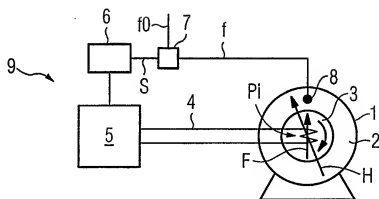


FIG 2

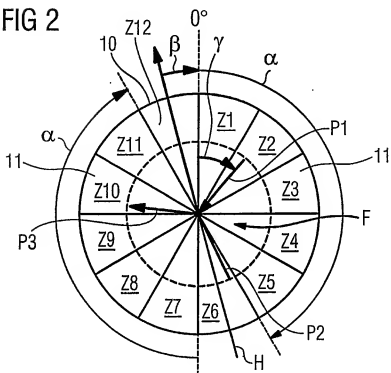
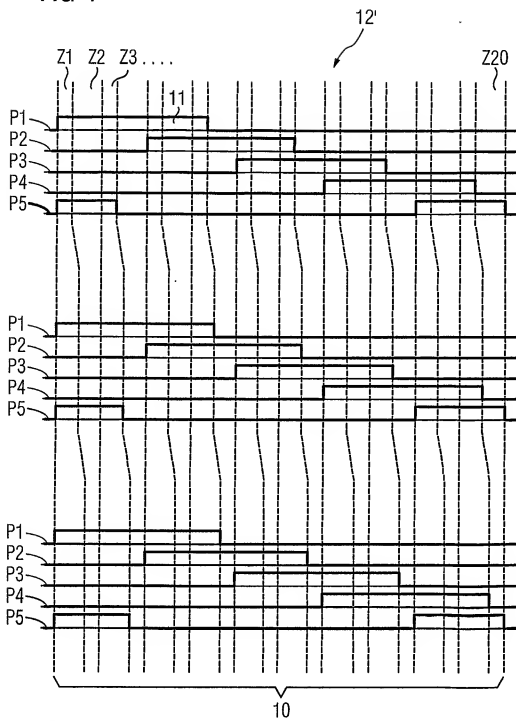


FIG 4



4/5

FIG 5

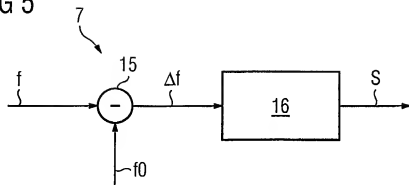


FIG 6

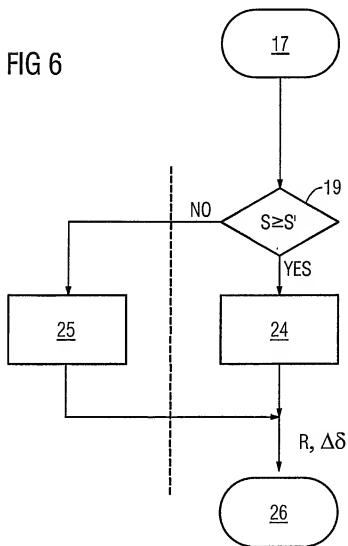


FIG 7

